

Technická univerzita v Liberci

Fakulta strojní

Katedra strojírenské technologie
zaměření strojírenská metalurgie

Studijní program B2341 – strojírenství

Výroba odlitků ze slitin zinku

Production of zinc alloy castings

Romana Bruthansová

KSP – SM – B28

Vedoucí bakalářské práce : Prof. Ing. Iva Nová, CSc.

Konzultant bakalářské práce : Ing. Pavel Pěnička

Rozsah práce a příloh:

Počet stran: 48

Počet obrázků: 31

Počet tabulek: 6

Počet vzorců: 5

05.01. 2011

Anotace

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra strojírenské technologie

Obor strojírenská metalurgie

Studijní program: B2341 - strojírenství
Student: Romana Bruthansová
Téma práce : Výroba odlitků ze slitin zinku
Production of zinc alloy castings
Číslo BP: KSP – SM – B28
Vedoucí BP: Prof. Ing. Iva Nová, Csc. – TU v Liberci
Konzultant: Ing. Pavel Pěnička – TU v Liberci

Abstrakt:

Tato bakalářská práce se zabývá výrobou odlitků ze slitin zinku. V poslední době se začíná tohoto lehce tavitelného, nepolymorfního, modrobílého kovu čím dál více uplatňovat v průmyslové výrobě, především v průmyslu automobilovém. První část bakalářské práce je zaměřena na charakteristiku zinku, jeho slitin, které jsou popsány dle použití. Dále je charakterizována výroba forem a následné odlévání. Hlavní částí práce je ucelený přehled výroby odlitků ze slitin zinku, které je založeno na vysokotlakém lití. V závěru práce jsou zmíněny hlavní zásady výroby odlitků ze slitin zinku.

Abstract:

This bachelor work deals with production of zinc alloy castings. Zinc, an easily fusible metal of blue-white colour, has lately been used more and more in industrial production and the automobile industry. The first part of this work concerns characteristics of zinc and its alloys, which are characterised in accordance with their application. Cast production and casting operations are characterised later in this study. The main part of this work includes summary of zinc alloy casting production, which consists of high-pressure castings. The main principles of zinc alloy casting production are discussed at the conclusion of this work.

Místopřísežné prohlášení:

Místopřísežně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovávala samostatně za použití příslušné literatury.

V Liberci dne 05. ledna 2011

.....

Romana Bruthansová

Husova 253/48

460 01 Liberec 5

Poděkování

Děkuji vedoucí bakalářské práce prof. Ing. Ivě Nové, CSc. za poskytnutí některých podkladů a cenných rad pro vyhotovení práce, dále děkuji Ing. Jiřímu Kolářovi za umožnění exkurze v podniku Beneš a Lát ve Slané u Semil. V neposlední řadě děkuji své rodině za sociální zázemí a psychickou i finanční podporu během studia.



OBSAH

1. ÚVOD	7
2. ZINEK A JEHO SLITINY	8
2.1 CHARAKTERISTIKA ZINKU	8
2.1.1 Výroba zinku.....	10
2.2 SLITINY ZINKU	13
2.2.1. Vlastnosti slitin zinku	14
2.2.2 Soustava Zn-Al	16
2.2.3 Soustava Zn-Cu.....	17
2.2.4 Soustava Zn-Al –Cu.....	18
2.2.5 Slitiny zinku pro lití pod tlakem – ZAMAK.....	19
2.2.6 Slitiny Zn – Al typu ZA	21
2.2.7 Slitiny zinku typu ILZRO	21
2.2.8 Slitiny zinku pro gravitační lití a neobvyklé.....	22
2.3 TAVENÍ A ODLÉVÁNÍ SLITIN ZINKU	22
2.4 FORMY PRO TLAKOVÉ LITÍ SLITIN ZINKU	23
2.4.1 Konstrukce formy pro lití pod tlakem.....	24
2.4.2 Řešení vtokové soustavy.....	25
2.4.3 Směry ke zlepšení konstrukce forem pro tlakové lití	29
2.4.4. Vlastnosti materiálů pro výrobu forem.....	30
3. VÝROBA ODLITKŮ ZE SLITIN ZINKU	31
3.1 VYSOKOTLAKÉ LITÍ	32
3.1.1 Plnění dutiny formy	34
3.2 STROJE PRO TLAKOVÉ LITÍ ODLITKŮ ZE SLITIN ZINKU	36
3.2.1 Řídicí systém stroje s teplou komorou.....	37
3.3 TLAKOVÝ ODLITEK.....	39
3.3.1 Vliv tvaru odlitku na technologičnost formy a lití.....	41
3.3.2 Tuhnutí a chladnutí odlitků ve slévárenské formě.....	41
3.3.3 Struktura odlitků	41
4. DISKUZE VÝSLEDKŮ	43
5. ZÁVĚR	45
6. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	45

1. ÚVOD

Slévárenství má dlouholetou tradici, jeho vznik se datuje cca asi do 4. tisíciletí př. n. l., tím se řadí k nejstarším oborům jak světové, tak i tuzemské průmyslové výroby. Toto odvětví je vhodné pro zhotovování dílů složitých tvarů, jež se nedají vyrábět jiným způsobem, např. obráběním, tvářením, atd. Rozvoj slévárenství nastal v 18. století v důsledku anglické průmyslové revoluce, kdy se uplatnilo při výrobě prvních textilních strojů. Později slévárenství přispělo k výrobě tvarově složitých výrobků a konstrukčních dílů. V současné době se výroba odlitků nejvíce uplatňuje v automobilovém průmyslu (výroba bloků, hlav, pístů, brzdových bubnů a kotoučů, atd.

Jak je obecně známo, při výrobě odlitků se vlévá roztavený kov do dutiny slévárenské formy, jejíž dutina má negativní tvar budoucího výrobku (odlitku), zvětšeného o míru smrštění odlévaného materiálu. Odlévání jednotlivých slévárenských slitin je úzce spojeno s použitou technologií výroby odlitku. Tak např. při výrobě odlitků z grafitických litin se používá především technologie gravitačního lití do pískových forem.

Nejpřesnější technologií odlévání pro výrobu odlitků z neželezných kovů, je tlakové, popř. gravitační lití. Tato metoda umožňuje produktivní, velkosériovou výrobu odlitků. Tlakové lití odlitků je především spojeno s odléváním slitin hliníku, avšak v poslední době se čím dál více začínají uplatňovat slitiny zinku. Slitiny zinku jsou vhodné pro výrobu menších odlitků do 0,5 [kg]. Slitiny zinku se vyznačují velmi dobrou zabíhavostí a poměrně jednoduchou přípravu taveniny.

Výrobou odlitků ze slitin zinku se v současné době zabývají také pracovníci Katedry strojírenské technologie Technické Univerzity v Liberci v rámci výzkumného záměru MSM 4674788501, kteří řeší úkoly spojené s technologickými podmínkami výroby odlitků ze slitin zinku.

S tímto záměrem je úzce spojeno i rešeršní řešení mé bakalářské práce, jejímž úkolem je vytvoření uceleného přehledu výroby odlitků ze slitin zinku.



2. ZINEK A JEHO SLITINY

2.1 CHARAKTERISTIKA ZINKU [1], [2], [3]

Zinek je lehce tavitelný, nepolymorfní, modrobílý kov, na řezu lesklý. Patří mezi důležité průmyslové těžké neželezné kovy, mezi nimiž je třetí nejvýznamnější. Teplota tání je 419,5 [°C], hustota 7 140 [kg.m⁻³] a bod varu 907 [°C]. V rozmezích 100 – 150 [°C] je tažný, v jiných teplotách křehký. Krystalizuje v šesterečné soustavě, hlavní osa mřížky je delší než odpovídajícímu těsnému uspořádání. A díky této nepravidelnosti má zinek zajímavé vlastnosti.

Čistý zinek se pro výrobu odlitků prakticky nepoužívá, protože má velmi špatné mechanické vlastnosti. Bez přísadových příměsí vykazuje R_m 150 [MPa] a HB zhruba 30 jednotek. V čisté formě ho používáme jen jako antikoroziční či dekorační vrstvy, pro ochranu povrchu předmětů pozinkováním.

S prvními nálezy zinku se dalo setkat v Kypru v období 1800 – 1400 př.n.l. jako s náhodnou příměsí bronzů, dalším místem nalezení byla Palestina v letech 1400 – 1200 př.n.l. Díky historickým nálezům jsme došli k poznatkům, že čistý zinek začali vyrábět Indové ve 13. století. V Evropě se první kovový zinek začal vyrábět až v 18. století, v Anglii. Hlavní místa jeho výskytu je Kanada, USA a Austrálie.

Zinek se vyrábí značně v Severní a Jižní Americe, Asii, Austrálii a v Evropě. Tato široká základna výrobců v kombinaci s nízkou úrovní integrace v průmyslu dospěla k tomu, že průmysl často pomalu reaguje na zhoršené podmínky na trhu. Cena zinku během ekonomické vytíženosti a v průběhu hospodářského zpomalení často zaostává za ostatními běžnými kovy.

Zinek se nejvíce uplatní v galvanizaci, hojně je i součástí slitin, v soustavě Zn-Cu, neboli v mosazích.



Tabulka 2-1 Přehled hodnoty fyzikálních a chemických veličin čistého zinku [4]

Číslo	Veličina a symbol	Jednotky	Hodnota
1.	Atomové číslo	[1]	30
2.	Atomová hmotnost m_A	[1]	65,38
3.	Atomový objem V_A	[cm ³]	15,104
4.	Atomový poloměr r_A	[nm]	0,1333
5.	Iontový poloměr r_I	[nm]	0,074 (Zn ²⁺)
6.	Vzdálenost atomů a_A	[nm]	0,2664
7.	Elektronová konfigurace	[1]	1s ¹ 2s ² 2p ⁶ 3p ⁶ 3d ¹⁰ 4s ²
8.	Krystalová mřížka	[1]	hexagonální
9.	Mřížková konstanta	[nm]	a=0,266; c=0,495
10.	Mocenství	[1]	2
11.	Absorpční účinný průřez σ_a	[m ²]	110.10 ⁻³⁰
12.	Rozptylový průřez σ_r	[m ²]	360±40
13.	Hustota ρ	[kg.m ⁻³]	7133
14.	Teplota tání T_T	[°C]; [K]	419,5; 692,5
15.	Teplota vypařování T_V	[°C]; [K]	906; 1179
16.	Tenze par p (při teplotě 765 K)	[Pa]	133,32
17.	Skupenské teplo krystalizace L_{KR}	[J.kg ⁻¹]	100850
18.	Skupenské teplo vypařování	[J.kg ⁻¹]	1781900
19.	Molární teplo C_P (při $T = 298$ K)	[J.mol ⁻¹ .K ⁻¹]	25,5
20.	Měrná tepelná kapacita (při $T = 298$ K)	[J.kg ⁻¹ .K ⁻¹]	383
21.	Entropie S (při $T = 298$ K)	[J.mol ⁻¹ .K ⁻¹]	41,65
22.	Entalpie H	[J.mol ⁻¹ .K ⁻¹]	130800
23.	Součinitel tepelné vodivosti λ (při $T = 291$ K)	[W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	111,10
24.	Součinitel délkové roztažnosti α při $T = 313$ K	[K ⁻¹]	29,2.10 ⁻⁶



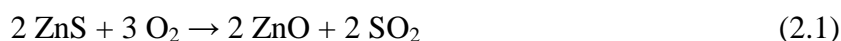
25.	Teplotní součinitel odporu α_R	[K ⁻¹]	$4,20 \cdot 10^{-3}$
26.	Pevnost v tahu R_m	[MPa]	127 až 196
27.	Youngův modul pružnosti v tahu E	[MPa]	34500 až 120 000
28.	Tvrdost HB	[MPa]	300
29.	Poissonova konstanta μ	[1]	0,2 až 0,3

Zinek se dobře leguje s četnými kovy. Tvářením za studena se zinek do jisté míry zpevňuje. Pokud se, ale překročí určitý stupeň tváření, dochází k zotavení. K tomu by se mělo přihlížet hlavně při mechanických zkouškách, kdy jejich výsledky záleží do určité míry na rychlosti zatěžování. Další špatnou vlastností je tečení za normálních teplot. Zinek vyžítaný teče zvolna, ale pokud se zvýší teplota, zvýší se i rychlost tečení. Tvárnost zinku se zlepšuje už při teplotě 100 [°C], kdy skluz je v různých kluzných rovinách. Proto první tváření z litého stavu se provádí nad touto teplotou, a to v rozmezích 100 – 150 [°C]. Jeho další tváření se provádí za studena.

Korozní odolnost zinku není dobrá. Na vzduchu je stálý, protože jeho povrch pokrývá vrstva šedě zbarveného zásaditého uhličitanu $4Zn(OH)_2CO_3$. Dokáže se rozpustit však v silných minerálních kyselinách a hydroxidech, jeho slitinám hrozí korozní napadení i vodní pára.

2.1.1 Výroba zinku [2]

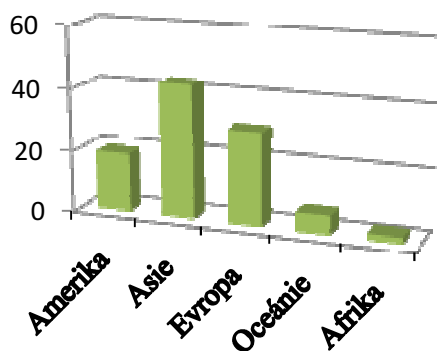
Zinek se vyrábí pyrometalurgickým nebo hydroelektrometalurgickým způsobem. V přírodě se zinek vyskytuje nejčastěji jako sulfid. Hlavní rudou je sfalerit neboli blejno zinkové ZnS , který se pražením převádí na ZnO . Jeho vedlejší produkt SO_2 se zpracovává na kyselinu sírovou, jak uvádí [2].



Redukce ZnO na kovový zinek se provádí v retortových pecích ohřevem spolu s drobným koksem při teplotách 1200 – 1300 [°C]. Zinek se zbaví kyslíku, převede do plynného stavu a při teplotě 600 [°C] začne kondenzovat. Takto se získává 98 [%] čistý zinek. Pokud je žádán zinek s ještě vyšší čistotou, vyrábí se elektrolyticky. Rudy se

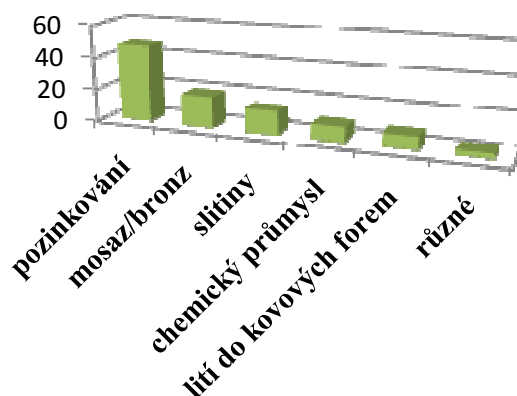
vyluhují kyselinou sírovou a výluh se podrobí elektrolyze. Zinek má pak čistotu 98,5 – 99,995 [%]. Dle procentuální čistoty se zinek dělí na zinek jemný, rafinovaný a surový hutní, který má čistotu pouze 97 [%].

výroba zinku [%]



a)

využití zinku [%]



b)

a) procentuální výroba zinku v jednotlivých kontinentech;

b) využití zinku v technické praxi.

Obr. 2.1 Výroba zinku a jeho využití v současné době [5]

1. Výroba zinku žárovým způsobem je založená na redukci kysličníku zinečnatého uhlíkem při teplotách nad 1000 [°C]. Zinkové páry, které vznikají při redukci a v kondenzátorech se mění na tekutý zinek. Celý proces probíhá v redukčním prostředí.

Důležitou součástí výroby čistého zinku je pražení zinkových koncentrátů. Účelem pražení je snížení obsahu síry. U žárového způsobu výroby zinku je vyžadováno, aby byla odstraněna síra siřníková a síranová. K pražení koncentrátů se používá několik druhů pecí, mezi nejvýkonnější patří pec fluidizační. Žárový způsob vyžaduje, aby praženec měl

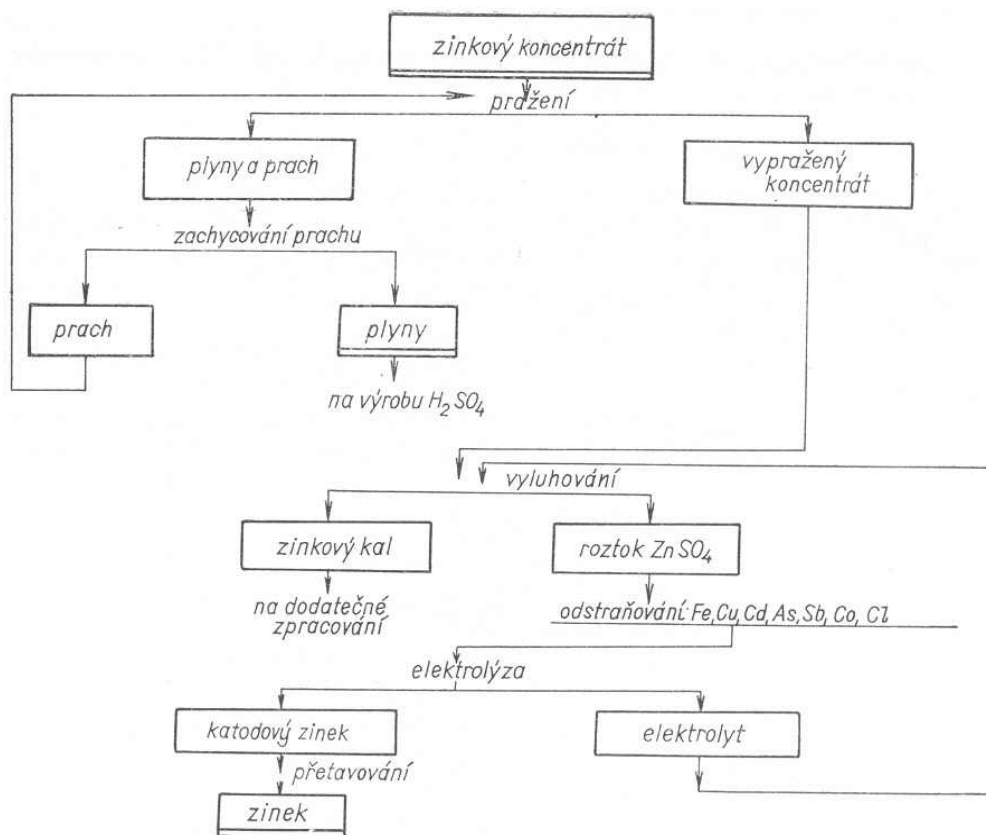


určitou zrnitost. Proto se používá pražení na aglomeračním pásu, kde se konečná zrnitost aglomerátu upravuje drcením dle potřeb technologie žárového zpracování.

Úprava kysličníkových rud je prováděna před jejich zpracováním. Rudy se upravují buď redukcí, nebo kalcinací, kdy klesá hmotnost rudy a zvyšuje se obsah zinku.

Následnou operací po žárovém zpracování je rafinace vycezováním, nebo destilace. Rafinace vycezováním se zakládá na omezené rozpustnosti železa a olova v zinku při snížené teplotě s rozdílnými měrnými hmotnostmi. Proces probíhá v plamenné peci za teplot zhruba 420 [°C]. Rafinace pomocí destilace se využívá za rozdílných teplot varu různých kovů a tlaků par. Destiluje se v rektifikační koloně, kde probíhá odpařování i kondenzace střídavě.

2. Výroba zinku mokrým způsobem - podstatou této výroby je loužení praženého koncentráту kyselinou sírovou. Zinek se tím převádí na roztok síranu zinečnatého, čistí se od příměsí a dále se z něho elektrolyticky vysráží zinek. Výroba zinku mokrým způsobem se více upřednostňuje než výroba při žárovém zpracování vzhledem k tomu, že tímto způsobem se dosahuje čistšího zinku, který se již nemusí dále rafinovat a je zde lepší možnost k získání kadmia a stopových prvků. Pražení zinku je podobné jako při výrobě žárovým způsobem, následuje loužení. Loužení pražence se děje ve dvou stupních, kdy je důležité vytvoření podmínek pro vyloučení železa, arzenu a antimonu z roztoku, který se neutralizuje, v roztoku zůstává jen část zinku a doprovodné prvky. Na obr. 2.2 Je názorné schéma celého procesu hydrometalurgické výroby zinku.



Obr. 2.2 Schéma výroby zinku mokrým způsobem [2]

2.2 SLITINY ZINKU [3], [1]

Zinkové slitiny ze spotřebního hlediska jsou čtvrtým průmyslově nejpoužívanějším kovem. Zinek se slévá s velkým množstvím kovů (Cu, Mg, Al) a velká většina slitin má v litém stavu jemnější krystalizaci než čistý zinek. Díky tomu mají slitiny zinku i vyšší mechanické vlastnosti.

Výběr přísadových kovů v zinku je omezený. Prakticky se osvědčily jen slitiny s hliníkem, mědí a malé přísady hořčíku, ojediněle se vyskytuje vápník, mangan a lithium. Chemické složení a mechanické vlastnosti slitin zinku viz tabulka 2.2.

Tabulka 2-2 Chemické složení a mechanické vlastnosti slitin zinku pro vysokotlaké lití

OZNAČENÍ SLITINY	CHEMICKÉ SLOŽENÍ [%]				MECHANICKÉ VLASTNOSTI		
	Al	Cu	Mg	Fe	R _m [MPa]	A ₁₀ [%]	HB
ZnAl4Cu3 ZAMAK 2	3,5 – 4,3	2,2 – 3,2	0,03 – 0,06	max. 0,075	420 – 480 ¹⁾ 300 ²⁾	2 – 3 ¹⁾	80 – 120 ¹⁾
ZnAl4 ZAMAK 3	3,9 – 4,3	0,10	0,02 – 0,05	max. 0,075	160 – 180	1	60
ZnAl4Cu1 ZAMAK 5	3,9 – 4,3	0,75 – 1,25	0,02 – 0,05	max. 0,075	270 – 330 ¹⁾ 180 – 220 ²⁾	2 – 5 ¹⁾ 1,5 ²⁾	80 – 100 ¹⁾ 70 ²⁾
ZnAl8	8,0 – 8,8	0,8 – 1,3	0,015 – 0,03	max. 0,1	220 – 255 ²⁾ 250 – 275 ³⁾ 360 – 385 ¹⁾	1 – 2 ²⁾ 1 – 2 ³⁾ 5 – 10 ¹⁾	85 ²⁾ 90 ³⁾ 105 ¹⁾
ZnAl12	11,0 – 11,5	0,5 – 1,25	0,015 – 0,03	max. 0,075	275 – 310 ²⁾ 310 – 345 ³⁾ 390 – 415 ¹⁾	1 – 3 ²⁾ 2 – 5 ³⁾ 4 – 7 ¹⁾	95 ²⁾ 105 ³⁾ 125 ¹⁾
ZnAl27	25,0 – 28,0	2,0 – 2,5	0,01 – 0,02	max. 0,1	400 ²⁾ 440 ¹⁾	3 – 5 ²⁾ 6 ¹⁾	90 ²⁾ 125 ¹⁾

Poznámka: ¹⁾ – pro odlitky lité pod tlakem, ²⁾ – pro odlitky lité do písku, ³⁾ – pro odlitky lité do kokily

2.2.1. Vlastnosti slitin zinku

Slitiny zinku mají velmi dobré mechanické vlastnosti za normálních teplot, lepší než většina slitin hliníku a mědi. Nevýhodou slitin zinku je pokles těchto vlastností při teplotách vyšších, než je 120 [°C] a nižších než 20 [°C]. Grafitem dané dynamické vlastnosti jsou rovněž dobré, díky vysoké tvrdosti jsou odlitky odolné proti opotřebení.

Základní bází slitin zinku je **soustava Zn-Al**. Tyto slitiny mají sklon ke stárnutí, což je proces, který má za následek objemovou kontrakci odlitků. Ta může vyvolat vznik vnitřního pnutí i zrychlení procesu koroze, při které se objem odlitku naopak zvětšuje a dochází tak k jeho praskání. Proti těmto nepříznivým jevům působí ve slitinách zinku příměs hořčíku. Ten však zhoršuje slévárenské vlastnosti, a tak jeho přísada bývá co možná ta nejmenší.

Slévárenské vlastnosti slitin zinku jsou též dobré. Obzvláště slitina ZnAl8 má úzké pásmo tuhnutí, nedochází u ní ke vzniku mikrostaženin a pórovitosti a odlitky z této slitiny mají vynikající těsnost. Oproti tomu slitina ZnAl27 má větší interval u teploty tuhnutí a tudíž má větší sklon k pórovitosti. Teploty tavení jsou poměrně nízké, teploty lití závisí na typu slitiny a jsou od 455 – 610 [°C]. Slitiny zinku mají dobrou zabíhavost a jsou vhodné pro výrobu odlitků s malými tloušťkami stěn. U odlitků litých pod tlakem může být tloušťka stěny odlitku 0,3 [mm], může se předlít otvor s průměrem 1 [mm]. Slitiny zinku velmi dobře kopírují tvar dutiny forem a lze vyrábět odlitky s ostrými hranami.

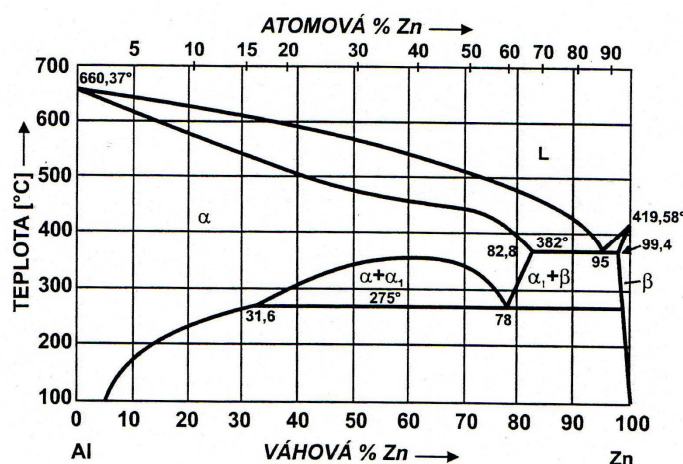
Mezi hlavní legury slitin zinku patří hliník, hořčík a měď. U těchto slitin se výrazně zvýší hodnoty jak mechanických vlastností, tak i vlastností slévárenské. Pro tuto technologii tlakového lití, kterou zde využíváme, jsou používány slitiny obchodní kategorie Zamak. Jedná se o slitiny ZnAl4, ZnAl4Cu1 a ZnAl4Cu3. Jejich složení a vlastnosti uvádíme v tabulce. Na obr. 2.3 je uveden přehled vybraných vlastností slitin zinku.



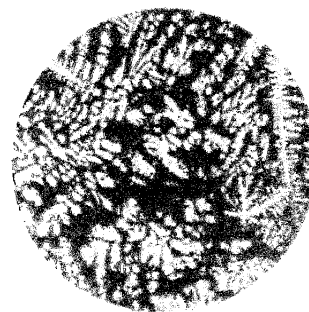
Obr. 2.3 Srovnání vlastností lité zinkové slitiny s dalšími kovy [6]

2.2.2 Soustava Zn-Al [3]

Slitiny zinku s hliníkem se velmi dobře rozpouštějí, což je patrné z binárního rovnovážného diagramu Zn-Al na obrázku. Vyznačují se výbornými slévarenskými vlastnostmi, hutnými odlitky, mají dobrou zabíhavost, avšak při gravitačním lití je nutno bohatě náltkovat. Mikrostruktura slitiny zinku má patrné světlé primární krystaly a eutektikum. Primární krystaly tvoří tuhý roztok hliníku v zinku (fáze β) a eutektikum (směs krystalů $\alpha + \beta$).



Obr. 2.4 Rovnovážný diagram Al-Zn [3]



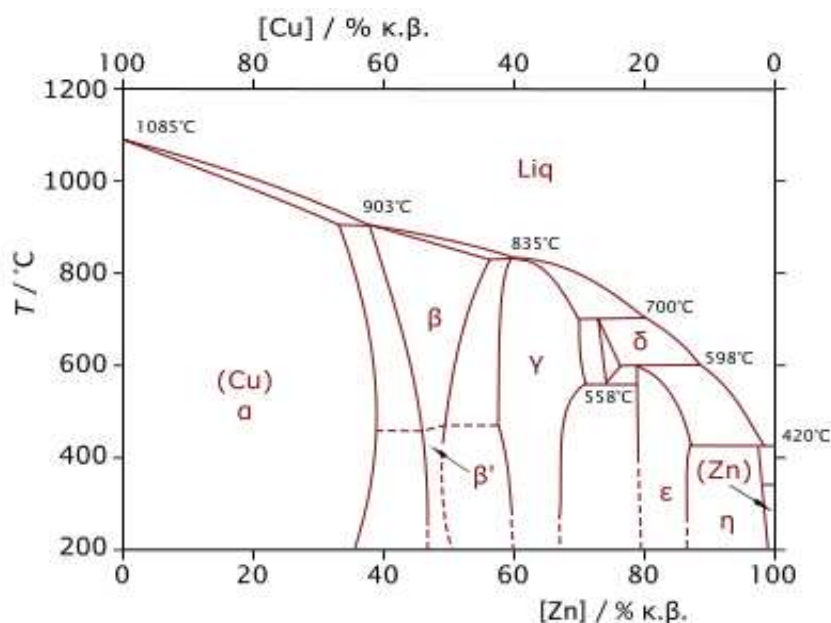
Obr. 2.5 Mikrostruktura slitiny ZnAl4 [3]

Licí teploty slitiny se v závislosti na chemickém složení pohybují v rozmezích teplot 470 – 650 [°C]. Slitiny s 5 [%] Al mají nejnižší teplotu 470 [°C], jsou eutektické a mají nejužší interval tuhnutí i nejvyšší zabíhavost. Mechanické hodnoty u tlakově litých odlitků se pohybují v rozmezích R_m 300 – 400 [MPa], HB je 90 – 110.

Z této slitiny vyrábíme nejčastěji skřínky rozvaděčů, těla karburátorů a drobné armatury v automobilovém průmyslu.

2.2.3 Soustava Zn-Cu [7]

Soustavu Zn-Cu je známá především pod pojmem mosazi. Binární rovnovážný diagram peritektického typu Cu-Zn je složitější než diagram Zn-Al. V tuhém stavu je rozpustnost omezena, v tekutém stavu jsou oba kovy dokonale rozpustné. Během tuhnutí nám vzniká celkem 6 různých druhů krystalů, což je patrné z diagramu na obr. 2.7. Primární krystaly α jsou substitučním tuhým roztokem zinku a mědi. Za teploty zhruba 450 [°C] je rozpustnost v zinku 38 [%] (nejvyšší) a s klesající teplotou se snižuje. Mechanické vlastnosti tuhého roztoku α jsou výborné, ovlivňovány krystalizací, roztok má vysokou pevnost a houževnatost. Podobným vlastnostem se pyšní i čistá měď, díky čemuž se mosazi používají především na tvářené výrobky.



Liquid – tavenina;

Obr. 2.6 Rovnovážný diagram Cu-Zn [8]

Se zvyšující se přísadou zinku přechází červené zabarvení mědi v barvu zlatou, oranžovou a žlutou. Pokud jsou ve slitině nasycené krystaly α , je opracovávaná plocha žlutozelená. Tavicí teplota mosazi se zvyšuje s obsahem zinku. Mosaz s 38 [%] obsahem zinku se taví kolem 900 [°C], s 50 [%] obsahem kolem teploty 860 [°C] a současně s tím se snižuje měrná váha. Těž elektrická a tepelná vodivost s přísadou zinku rychle klesá.

Tvárné slitiny Cu-Zn nelze hodnotit pouze ve stavu měkkém, neboť v praxi používáme častěji slitiny zpevněné po tváření za studena. Toto zpevnění není u všech slitin stejné a je charakteristické pro jejich využitelnost k tváření za studena. S obsahem zinku klesá tažnost a plasticita, zvyšuje se tvrdost a pevnost a současně se mění i barva slitin.

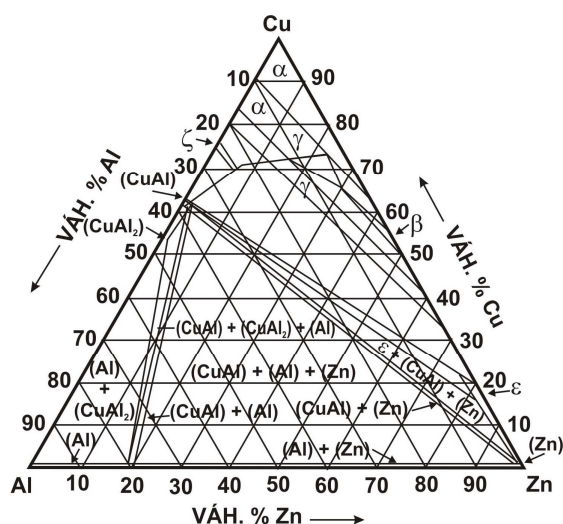
Fázové složení a vlastnosti binárních mosazí se mění přibližně takto:

- do 30 % Zn (Ms 70) se ve slitině nachází jen tuhý roztok nejměkčí fáze α ;
- do 35 % Zn odlitek chladne nerovnovážně a vylučuje se i fáze β ;
- 40 % Zn (Ms 62) krystalizuje slitina dvoufázově;
- u 43 % Zn (Ms 59) převažuje fáze β a fáze α je v menším množství;
- při 47 % Zn se ve slitině nevyskytuje fáze α a slitina je složena pouze z fáze β .

2.2.4 Soustava Zn-Al-Cu [1]

Slitiny odvozené ze soustavy Zn – Al – Cu jsou uvedeny v normě ČSN pod označením ČSN 42 35 58 (slitina - ZnAl4 Cu0,5), ČSN 42 3560 (slitina – ZnAl4Cu1) a ČSN 42 3562 (slitina – ZnAl4Cu3) pro lití pod tlakem. V této soustavě jsou při teplotě 375 [°C] ternárního eutektika v rovnováze čtyři fáze, a to fáze kapalná, tuhý roztok bohatý na zinek, roztok bohatý na hliník a fáze ϵ Cu-Zn. Při teplotách nižších se fáze, která je

bohatá na hliník, rozpadá. Ternární slitiny mají stejně jako slitiny Al-Zn sklon ke stárnutí. Díky probíhající precipitaci a segregaci fází to vede ke změnám objemu.



FÁZE	SLOŽENÍ	
	Al [%]	Cu [%]
Kapalná	7	3,9
Tuhý roztok bohatý na Zn	1,3	2,9
Tuhý roztok bohatý na Al	-	1,8
Fáze ϵ Cu - Zn	1,4	15,2

Obr.2.7 Rovnovážný diagram Zn-Al-Cu [1];

Tabulka 2-3 Fáze ternární soustavy Zn-Al-Cu [1]



2.2.5 Slitiny zinku pro lití pod tlakem – ZAMAK [1], [9], [10]

V současné době slitiny zinku používané v zahraničí jsou označovány obchodním názvem ZAMAK. Mají největší uplatnění v lití pod tlakem, které se dělí na gravitační lití či méně obvyklé metody. Základ tvoří slitiny se 3,8 [%] - 4,0 [%] Al. Obsah hliníku je maximálně 4 [%] vzhledem k tomu, že se při následném zvýšení snižuje křehkost (rozpad fáze β), což se ale podaří překonávat díky přísadě hořčíku. Hořčík v malém množství zpožďuje fázi β , což znamená, že tato fáze se rozpadá až za teploty místnosti bez vnitřních pnutí a bez výskytu mikrotrhlinek. Avšak přísada hořčíku také není vždy výhodná, protože v podmínkách lití pod tlakem snižuje zabíhavost. Při správné přísadě hořčíku musí dojít ke kontrakci 0,07 [%]. 2/3 zkrácení se dosáhne zhruba po měsíci, zbytek probíhá za několik let. Zkrácení se urychluje tepelným zpracováním. Odlitky se tepelně zpracovávají po dobu 3-6 hodin při 100 [°C], 5-10 hodin při 85 [°C] nebo 10-20 hodin při 70 [°C].

Atmosférická koroze sice neohrožuje odlitky z čistých surovin, ale i tak se nedoporučuje používat v horké páře odlitků litých pod tlakem. Působení koroze je přísným kritériem odolnosti proti korozi po dobu působení několika dnů při teplotě 100 [°C]. Jsou-li zinkové odlitky vystaveny působením horké vody, není čeho se bát. Na odlitcích se stykem s vodou vzniká koroze minimálně jen v případě, že se jedná o zásadité prostředí. Přidá – li se k vodě 0,1 – 0,3 [%] dvojchromanu sodného či 1 [%] boraxu, rychlost boraxu se podstatně sníží.

V tabulce 2-4 je uveden přehled a značení vybraných typů slitin ZAMAK. Chemické složení a mechanické vlastnosti těchto slitin je patrný z tabulky 2-5.

Tabulka 2-4 Přehled slitin typu ZAMAK [10]

NÁZEV	SLOŽENÍ	ČSN	EN	JINÝ NÁZEV	BARVA BALÍKŮ
ZAMAK 2 (Zn 430)	ZnAlCu3	42 3562	ZP0430	ZL2/ZL0430	zelená
ZAMAK 3 (Zn 400)	ZnAl4	42 3558	ZP0400	ZL3/ZL0400	žlutá
ZAMAK 5 (Zn 410)	ZnAl4Cu1	42 3560	ZP0410	ZL5/ZL0410	černá



Tabulka 2-5 Fyzikální a mechanické vlastnosti slitin zinku typu ZAMAK [11]

VLASTNOSTI	TYP SLITINY		
	ZAMAK 2	ZAMAK 3	ZAMAK 5
Hustota [kg*cm ⁻³]	6800	6700	6700
Teplota tavení [°C]	390	388	387
tepelná vodivost [W*m ⁻¹ *K ⁻¹]	119	113	110
pevnost v tahu [MPa]	355	280	330
pevnost v tlaku [MPa]	640	450	600
pevnost ve smyku [MPa]	317	220	270
modul pružnosti v tahu [MPa]	85000	85000	85000
tažnost (50 mm) [%]	5	10	5
0,2 % smluvní meze kluzu [MPa]	270	200	250
mez únavy (10 ⁸ cyklů) [MPa]	60	48	56
tvrdost podle Brinella (HBS500- 10-30)HB	102	83	92

Zamak 2 má nejvyšší pevnost a tvrdost, což způsobuje jeho vysoký obsah mědi. Avšak obsah mědi způsobuje i dlouhodobé stárnutí, čímž jsou ovlivněny mechanické vlastnosti, které naopak nejsou tak dobré jako u slitin typu Zamak 3 a Zamak 5. Zamak 2 lze jako jedinou slitinu použít nejen pro tlakové lití, ale i pro lití odstředivé.

Zamak 3 je nejvíce uplatněná slitina zinku pro tlakové lití do teplé komory. Má vynikající mechanické vlastnosti, výbornou slévatelnost, dlouhodobou rozměrovou stálost, odolnost proti korozi i dobrou obrobitelnost. Z této slitiny zinku je vyrobeno cca 70 [%] všech odlitků.

Zamak 5 se používá na odlitky, u kterých není rozměrová stálost tak podstatná. Má podobné vlastnosti, jako má Zamak 3, jako je vysoká pevnost a tvrdost, avšak jeho tažnost není příliš vysoká.

2.2.6 Slitiny Zn – Al typu ZA [1]

Slitiny Zn-Al typu ZA se liší od slitin typu ZAMAK svými vlastnostmi. Liší se především ve složení, slévateľnosti, mají jiné i mechanické vlastnosti. Mají vysokou pevnost, tvrdost, odolnost proti deformaci a opotřebení, dobrou obrobiteľnost. Slitiny ZA se využívají pro tlakové lití do studených komor či pro gravitační lití.

ZA 8 se jako jediná dá odlévat, jak ve studených, tak i ve strojích s teplou komorou a využívají se tam, kde klasické slitiny nelze použít. Mají vynikající povrchovou kvalitu, rozměrovou stálost, dobrou pevnost v tahu i tvrdost.

ZA 12, ZA 27 se odlévají pouze do studené komory, ZA 12 pro gravitační lití. Slitiny mají vysokou odolnost proti deformaci, dobrou obrobiteľnost, mechanické vlastnosti a malou pórovitost odlitků.

Značení slitin typu ZA je uvedeno v tabulace 2-6.

Tabulka 2-6 Přehled slitin typu ZA

NÁZEV	SLOŽENÍ	JINÝ NÁZEV
ZA 8	ZnAl8Cu1	ZL8/ZL0810
ZA 12	ZnAl12Cu1	ZL12/ZL01110
ZA 27	ZnAl27Cu2	ZL27/ZL02720

2.2.7 Slitiny zinku typu ILZRO [1]

V dnešní době došlo k vývoji nové řady slitin zinku pod vedením organizace „International Lead Zinc Research Organisation“. Slitiny typu ILZRO ještě zdaleka nekonkurují slitinám typu ZAMAK. Zdá se, že je spíše doplňují, než že by došlo k úplnému nahrazení. Na trhu jsou známy zatím tři typy, a to ILZRO 12,14 a 16, které se používají na odlitky lité pod tlakem na strojích jak s teplou, tak i se studenou komorou, či

se odlévají do kokil. Slitiny mají lepší mechanické vlastnosti a vyšší odolnost proti tečení než slitiny typu ZAMAK.

2.2.8 Slitiny zinku pro gravitační lití a neobvyklé

Slitiny zinku pro gravitační lití se odlévají do pískových, keramických či grafitových forem, lze je vak použít i pro tlakové lití. Mají výborné mechanické vlastnosti, ostatně jako slitiny pro tlakové lití. Slitiny zinku pro gravitační lití mají nadeutektickou koncentraci hliníku 8 – 27 [%] a nejvíce se z nich používá slitina ZA 12.

Slitiny zinku pro méně obvyklé metody lití obsahují kolem 5 [%] hliníku, měď a křemík, díky čemuž jsou vhodné pro menší odlitky s nízkými nároky na pevnost.

2.3 TAVENÍ A ODLÉVÁNÍ SLITIN ZINKU [2]

Slitiny zinku se taví v plynových či elektrických pecích. Slitiny zinku mají nízký tepelný obsah při lící teplotě, který je nízký díky nízké hodnotě latentního krystalizačního tepla a měrné tepelné kapacitě. Na základě rovnice pro výpočet celkového množství tepla, které je nutno k roztavení m kg čistého zinku, lze psát:

$$Q = m \cdot [c_s \cdot (T_{KR} - T_{20}) + L_{KR} + c_L \cdot (T_{lití} - T_{KR})] \quad [\text{J}], \quad (2.2)$$

kde značí: m – množství kovu [kg];

Hodnoty při čistý zinek jsou: $L_{KR} = 112\,206 \text{ [J.kg}^{-1}\text{]}$; $c_s = 385 \text{ [J.kg}^{-1}\text{.K}^{-1}\text{]}$; $c_L = 502 \text{ [J.kg}^{-1}\text{.K}^{-1}\text{]}$; $T_{KR} = 420 \text{ [}^\circ\text{C]}$; $T_{lití} = 450 \text{ [}^\circ\text{C]}$. Po dosazení hodnot do rovnice (2.2) lze vypočítat celkové množství tepla nutné k ohřátí 1 kg čistého zinku z teploty $20 \text{ [}^\circ\text{C]}$ na teplotu lití $450 \text{ [}^\circ\text{C]}$. Toto teplo činí 281 [kJ] .

Při tavení je velmi výhodné, že zinek se neslučuje s kyslíkem jako hliník, proto tavení slitin zinku je jednodušší. Jen je však nutné, aby nedošlo k nasycení taveniny se škodlivými kovovými prvky. Proto se doporučuje tavit slitiny v kelímcích SiC. Pro tavení nejsou vhodné kelímky, které byly použity pro tavení jiných slitin. Při tavení slitin zinku nevzniká kouř ani žádné jiné výpary, což je výhodné z hlediska ochrany životního

prostředí. Před odléváním není potřeba taveninu speciálně rafinovat, odplyňovat, ani používat žádné tavící prostředky.

Slitiny zinku se nejvíce odlévají tlakovým litím na strojích s teplou tlakovou komorou. Pro tyto účely se nejvíce používají slitiny ZnAl4, ZnAl4Cu1 a ZnAl4Cu3. Pokud mají slitiny 8 – 12 [%] obsahu Al, je možné odlévat ve strojích s komorou studenou. Slitina ZnAl27 se odlévá jen na strojích se studenou tlakovou komorou a to vzhledem k tomu, že při použití strojů s teplou komorou dochází ke značné kontaminaci železa z formy do odlitku.

Správná teplota lití slitin zinku je 410 – 430 [°C]. Přiměřená lící teplota se snáze dodržuje v teplé lící komoře, než ve studené. U strojů se studenou lící komorou se materiál předehtívá, čímž dochází ke vzniku více oxidů, které snižují pevnost a obrobiteľnosť odlitku.

2.4 FORMY PRO TLAKOVÉ LITÍ SLITIN ZINKU [12]

Z důvodu, že slitiny zinku se nejvíce odlévají tlakovým litím, je tato kapitola zaměřena na charakteristiku tlakových forem. Formy pro tlakové lití zinku se skládají z pevného a pohyblivého dílu. V pevném dílu se nachází vtoková soustava a díl je upnutý na stole stroje. V pohyblivém dílu je mechanismus na uvolnění odlitku z formy. Forma může mít buď jednu, či více dutin, podle toho se odvíjí i počet odlitků ve formě.

Konstrukce a životnost formy má veliký vliv na kvalitu odlitku, cena se odvíjí od velikosti odlitku a použitého materiálu. Forma pro tlakové lití je cyklicky namáhána, poměrně vysokými teplotami a tlaky. Dále na životnost formy nepříznivě působí změny teplot a vlastnosti taveniny. Z hlediska delší životnosti se dnes formy nitridují a difúzně žíhají. Nitridací formy, do hloubky asi 0,3 mm, se zvyšuje tvrdost povrchu a současně se zachovává i houževnatost jádra. Vhodná je i technologie nanášení ochranných povrchů, která vzniká ponořením formy do vany s roztavenými ochrannými prvky (vanad, chrom, atd.). Po ponoření vzniká reakce mezi karbidotvornými prvky a uhlíkem z ocele a vytváří se vrstva karbidu. Teplota horké lázně je kolem 1000 – 1050 [°C], doba setrvání v lázni se

odvíjí od teploty taveniny a tloušťky ochranné vrstvy. Na tloušťku 5 – 10 [μm] stačí 4 – 8 hodin setrvání v lázni.

Formy se vyrábějí většinou z legovaných, chromových, wolframových, chromomolybdenových ocelí. Použití těchto vysokokvalitních ocelí na výrobu forem se zvyšuje i jejich cena.

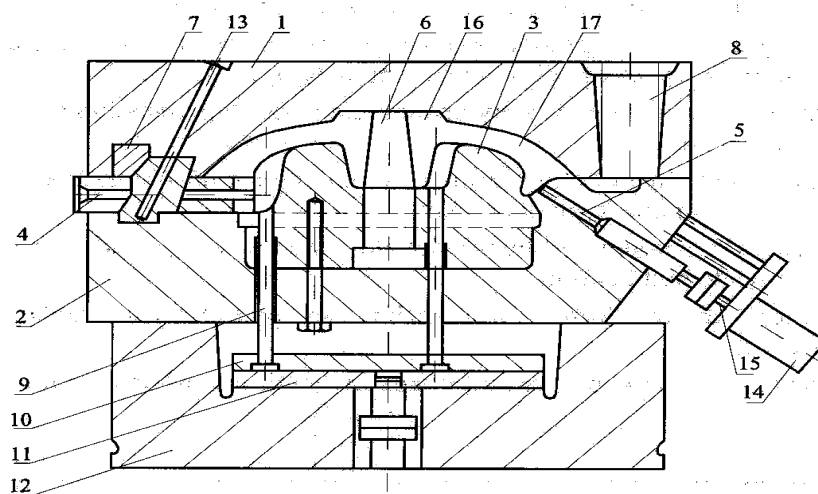
Materiál formy je závislý na těchto faktorech:

- a) zachování mechanických vlastností při vysokých teplotách;
- b) odolnost proti tepelným změnám;
- c) stálost vůči odlévané slitině;
- d) dobrá obrobitelnost;
- e) nízký koeficient lineárního rozšíření.

Před samotným odlitím se na povrch dutiny formy nanáší ochranné prostředky, které umožní lehčí uvolnění odlitku z dutiny formy. Tuto ochranu zaručí tuky či vosky, směsi parafínu, mazutu, cerezínu či minerální oleje. Tepelný režim formy značně ovlivňuje kvalitu odlitku. V příliš studené formě se na odlitku vytváří mapovitý povrch, v teplejší lící formě se slitina nalepuje na formu a zvyšuje se možnost případných bublin a pórovitost, proto je nutné dodržovat teplotu formy konstantní (1/3 teploty odlévaného kovu).

2.4.1 Konstrukce formy pro lití pod tlakem [11]

Konstrukce formy pro tlakové lití je dosti složitá. Složitost vychází z toho, že forma musí obsahovat vtokovou soustavu, vyhazovače a temperační systém. Na obr. 2.8 jsou znázorněné hlavní části formy pro lití kovů pod tlakem s uvedenými názvy jednotlivých částí.



1. Pevná polovina formy; 2. Pohyblivá polovina formy; 3. Vložka pohyblivé poloviny formy; 4. Pohyblivé jádro rovnoběžné s dělicí plochou; 5. Pohyblivé jádro šikmo uložené oproti dělicí ploše formy; 6. Pevné jádro kolmé na dělicí plochu formy; 7. Oporná vložka jádra formy; 8. Dutina pro plnicí komoru; 9. Vyhazovač; 10. Vodící deska vyhazovače; 11. Oporná deska vyhazovače; 12. Upínací skříň formy; 13. Šikmý kolík pro pohyb jádra; 14. Hydraulický tahač jádra; 15. Pístnice hydraulického vyhazovacího válce; 16. Dutiny formy; 17. Dělicí plocha formy.

Obr. 2.8 Forma pro lití kovů pod tlakem[11]

2.4.2 Řešení vtokové soustava [11]

Vtokový systém určuje základní charakteristiku formy. Při plnění dutiny formy je zapotřebí se zabývat prouděním slitiny kovu. Je obecně známo, že existují 2 druhy proudění, laminární a turbulentní. Při laminárním prouděním se kov pohybuje nižší rychlostí bez míšení částých proudů, turbulentní proudění je naopak vystaveno rychlostem vyšším. Proudění je charakterizováno Reynoldsovým číslem Re .

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu}, \quad (2.3)$$

kde značí: v – rychlost proudění kapaliny [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$];

d – průměr potrubí, ve kterém proudí slitina kovu [m];

ν – kinematickou viskozitu [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$].

Jak je obecně známo, rozdíl mezi laminárním a turbulentním prouděním vymezuje kritická hodnota Reynoldsova čísla. Pro vodu je hodnota kritického Reynoldsova čísla $Re = 2320$, kde při laminárním proudění je $Re < Re_{\text{krit.}}$ a při turbulentním proudění $Re > Re_{\text{krit.}}$. Pro slévárenské účely je vhodnější laminární proudění.

U tlakového lití se rozlišují tři skupiny plnění dutiny formy dle velikosti vstupní rychlosti [13]:

a) nízká rychlost – plnění laminárním proudem, to odpovídá vstupní rychlosti taveniny

nižší než $0,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, přičemž $\frac{\sigma_z}{\sigma_{od}} \geq \frac{1}{2}$ až $\frac{2}{3}$. Při laminárním plnění se docílí vysoké

hutnosti odlitku na úkor snížení podílu bublin a pórů, protože se tavenina nemísí s odcházejícími plyny. U metody klasického tlakového lití je ovšem možno takto nízkou plnicí rychlost použít pouze u jednoduchých tvarů ze slitin, které mají široké pásmo tuhnutí.

b) střední rychlost – souvislé turbulentní plnění, odpovídá vstupní rychlosti taveniny $0,5 - 15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Při této rychlosti tavenina narazí na protilehlou stěnu formy, které se rozdělí na dva proudy. Ty se vracejí a nastává turbulentní míchání taveniny s okolní atmosférou.

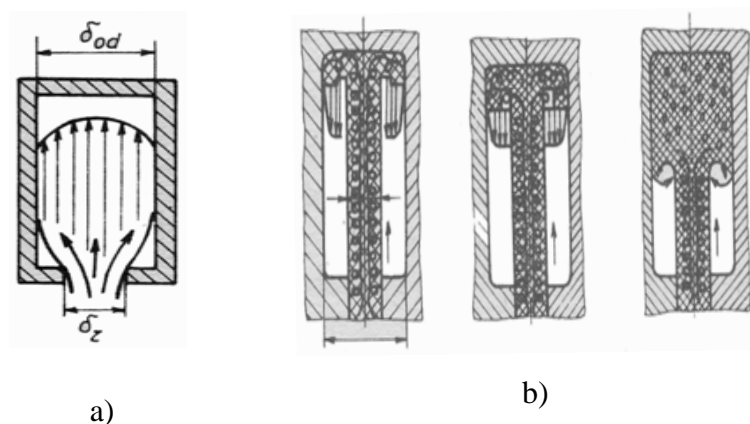
Plyny zůstanou v hotovém odlitku ve formě bublinek o velikosti $0,1$ až 1 mm . Turbulentní plnění formy nastává pokud $\frac{\sigma_z}{\sigma_{od}} \geq \frac{1}{4}$ až $\frac{1}{2}$.

c) vysoká rychlost – odpovídá tzv. disperznímu plnění, které vzniká při rychlostech plnění

dutiny formy rychlostí nad 25 až $30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ a nastává, pokud $\frac{\sigma_z}{\sigma_{od}} \leq \frac{1}{4}$ až $\frac{1}{2}$.

Při těchto vysokých rychlostech proud taveniny narazí na stěnu formy, o kterou se roztříští na velké množství malých kapiček. Kapky taveniny s okolní atmosférou vytvoří disperzní směs. Plyny a vzduch, které se při tom zachytí, zůstanou v odlitku a vytvoří v něm jemnou pórovitost.

Na obr. 2.9 je uvedeno schéma proudů taveniny vstupujících do dutiny vysokotlaké formy.



a) laminární proudy; b) turbulentní proudy.

Obr. 2.9 Schéma laminárního a turbulentních proudů vstupujících do tlakové formy [13]

Jak je z výše uvedeného zřejmé, plnění vysokotlaké formy taveninou je též úzce spojeno s volbou a konstrukcí vtokové soustavy. Při určování vhodného místa pro zavedení vtokové soustavy se vychází z těchto hledisek:

- zavést proud kapalného kovu při postupném vyřazování odvzdušňovacích prvků v průběhu plnění dutiny formy tak, aby i poslední z nich byly funkční i v poslední fázi plnění;
- zavést proud slitiny tak, aby nenarážel na jádro a výstupky v dutině formy;
- u odlitků složitých tvarů zavést proud slitiny tak, aby byl rovnoběžný s delšími rozměry výstupků.

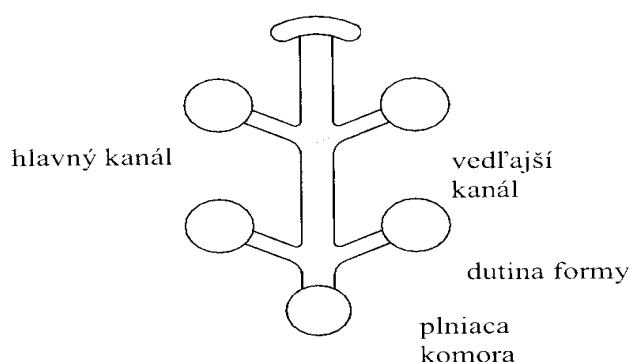
Současně je třeba zdůraznit, že při plnění dutiny formy také závisí na čelní ploše vstupujícího proudu do formy. Na této ploše v různých případech při plnění formy taveninou vznikají vzduchové bubliny.

Byl stanoven empirický vzorec pro výpočet rychlosti taveniny v naříznutí (v_z), který pro slitiny zinku je:

$$v_z = 0,054 \cdot \sqrt{p}, \quad (2.4)$$

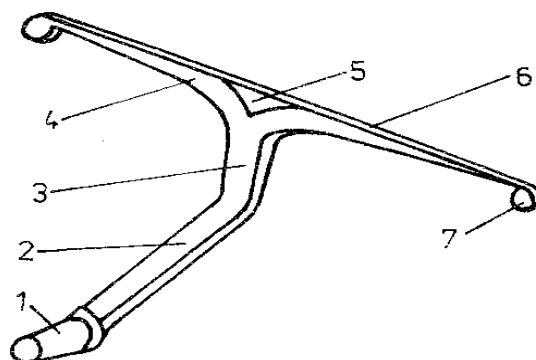
kde značí: p – tlak pístu v plnicí komoře tlakového stroje [Pa].

Vtokový zářez spojuje vtokovou soustavu s plnicí komorou. U formy s jednou dutinou je hlavní přívodový kanál se zářezem. Hlavní kanál je umístěn ve formě do její pohyblivé části, tak aby nebylo narušeno čelo plnicí komory. Průměr přivádějícího kanálu by se měl od plnicí komory směrem k zářezu zmenšovat. To zaručí rovnoměrné zvýšení rychlosti slitiny při průběhu ve vtoku. U forem s více dutinami se volí průřez hlavního přívodu kanálu dle obr. 2.10.



Obr. 2.10 Schéma vtokového systému formy pro tlakové lití [11]

Jak již výše uvedeno, forma má mít takovou konstrukci, aby zajistila minimální čas a rovnoměrnost celého objemu jejího plnění. Tyto podmínky je možno splnit díky použití deltové vtokové soustavy s optimálním poměrem příčných průřezů.



1. Vtokový kanál; 2. Vedlejší vtok; 3. V rozvětvení; 4. Zužující se vtok;
5. Delta oblast; 6. Zářez; 7. Tlumič nárazu proudu taveniny

Obr. 2.11 Schématické znázornění „delta“ vtokové soustavy [12]

2.4.3 Směry ke zlepšení konstrukce forem pro tlakové lití [11]

V současné době technická praxe přinesla některé konstrukční změny v úpravách forem:

- a) stavebnicové formy;
- b) normalizované díly forem;
- c) úprava formy pro toleranci tlakových odlitků;
- d) úprava tvaru dělicí plochy formy;
- e) úkosové vedení jader a zámků vzhledem k přesnosti odlitků při vysoké trvanlivosti formy;
- f) temperance formy a regulace teploty formy.

2.4.4. Vlastnosti materiálů pro výrobu forem [11]

Materiály pro výrobu forem musí splňovat vlastnosti, které vycházejí z namáhání forem pro tlakové lití. Jedná se především o tzv. nízkocyklickou tepelnou únavu, pro kterou jsou důležité některé vlastnosti materiálu, jako např. tepelná vodivost, teplotní roztažnost, Youngův modul pružnosti, mechanické vlastnosti, odolnost proti chemickému namáhání formy a odolnost proti tepelné únavě.

Tepelná vodivost ovlivňuje teplotní pole slévárenské formy a současně působí na zabíhavosti kovu. Pro výrobu forem z tohoto hlediska jsou výhodnější materiály, které vykazují vyšší hodnotu tepelné vodivosti.

Mechanické vlastnosti se můžou měnit při odlévání. Při vyšších teplotách se snižuje mez kluzu a mohou se vyskytnout i plastické deformace. Je obecně známo, že by se ocele na výrobu forem měly popustit na nižší pevnost, čímž se plastické deformace snižují. Za tímto účelem se však musí materiály podrobit zkoušce tepelné únavy.

Odolnost proti tepelné únavě se obvykle zkouší laboratorně, kde jsou přísnější podmínky než ve skutečnosti, čímž se dostává rychlejších výsledků. Laboratorně se nezkouší forma, avšak zkoušky se provádí pouze na malých vzorcích zkoušeného materiálu vlivem indukčního ohřevu s následným rychlým ochlazením ve vodě.

Chemické namáhání formy je též nebezpečné. S teplotou toto nebezpečí roste. Chemické namáhání tlakových forem se nejvíce vyskytuje při odlévání hliníkových slitin, kdy tyto slitiny napadají železo za vzniku soustavy Fe-Al. Při odlévání slitin zinku chemické namáhání forem není tolik zřetelné, neboť tyto slitiny nevytváří intermetalické fáze. Naopak, při odlévání mosazí zinek proniká do trhlinek vytvořených na pracovním povrchu formy. Při malé tloušťce může chemické namáhání ovlivnit povrch odlitku a formy a dokonce může formu zničit. Tento jev je znám jako nalepování kapalného kovu při plnění dutiny formy. Chemickému namáhání formy se snažíme předcházet, např. používáním ochranných vrstev a nástřiků, popř. vhodnou volbou lící teploty odlévané slitiny a teploty formy.

V současné době existují renomované firmy, které se zabývají návrhem a výrobou vysokotlakých forem, jak pro slitiny hliníku, tak pro slitiny zinku.

3. VÝROBA ODLITKŮ ZE SLITIN ZINKU

Odlitky ze slitin zinku se vyrábí až na výjimky převážně vysokotlakým litím. Metody vysokotlakého lití je možno uplatnit především při velkosériové výrobě. Pro malosériovou výrobu odlitků je spíše výhodnější gravitační lití do pískových forem. Vysokotlaké lití se řadí do skupiny přesného lití, které se nejvíce přibližuje k ideální snaze přeměnit odlévaný materiál na hotový výrobek.

Tlakové lití oproti lití do pískových forem nebo do kovových gravitačním litím vychází ekonomicky výhodněji. Je možné dosáhnout úspory na taveninách potřebných na výrobu odlitků kolem 10 – 20 [%] a úspory ve výrobě jsou 15 – 30 [%].

Teplota tlakové lící formy při odlévání slitin zinku se pohybuje kolem 120 – 180 [°C], výjimečně pak až 200 [°C]. Při vhodné teplotě formy mají odlitky na povrchu jemný a sametový lesk. Pokud je ale forma chladnější, povrch je jakoby rozpraskaný. Při vyšší teplotě formy se zase zvyšuje procento výskytu bublin na povrchu. Bublinám lze předejít či je odstranit tak, že se odvzdušní forma a teplota lící formy se sníží intenzivním ochlazováním, nebo se ihned vyjme odlitek po dokončeném cyklu z formy a ponoří se do studené vody.

Výhody tlakového lití odlitků ze slitin zinku jsou

- a) hladký povrch odlitků
- b) dobré mechanické vlastnosti odlitků vzhledem k jemnozrnné struktuře
- c) možná výroba tenkostěnných odlitků
- d) menší náklady na materiál
- e) možná výroba odlitků s nízkými rozměrovými tolerancemi
- f) není třeba po lití obrábět
- g) výroba odlitků složitých tvarů
- h) možné předlévat otvory velmi malých rozměrů cca \varnothing 1 mm

Nevýhody tlakového lití odlitků ze slitin zinku jsou

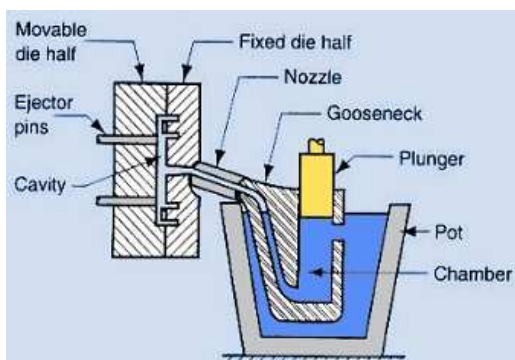
- a) vysoké náklady na výrobu formy
- b) vysoké náklady na pořízení strojů a dalších zařízení
- c) z důvodu poměrně velké hustoty slitin zinku cca $7000 \text{ [kg.m}^{-3}\text{]}$
je možno odlévat odlitky menších rozměrů
- d) menší tažnost slitin odlitých pod tlakem
- e) velikost odlitku je omezená velikostí stroje
- f) u vyšších licích teplot vznik bublin
- g) nutný proškolený personál

3.1 VYSOKOTLAKÉ LITÍ [11], [13]

Při vysokotlakém lití přispívá vliv tlaku k vytváření jemných krystalizačních zárodků taveniny zinku. Pro tlakové lití jsou slitiny zinku obzvláště výhodné i přes vysokou ochlazovací rychlost formy, která zhoršuje u odlitků zabíhavost. Zvýšení zabíhavosti se docílí zvýšenou rychlostí plnění kovu do licí formy. U lití pod tlakem u zinkových slitin je možné vytvořit velmi malé tloušťky stěn odlitků, až $0,8 \text{ [mm]}$.

Vysokotlaké lití má vynikající vlastnosti u odlitků, odlitky mají výbornou přesnost a hladkost, jejich kvalita se odvíjí od tloušťky stěn. Pokud je tloušťka stěn vyšší, je zákonitě větší sklon k pórovitosti odlitku.

Pro výrobu odlitků z nízkotavitelných slitin jako je zinek, se používají tlakové stroje s teplou licí komorou. Vstřikovací komora je umístěna v kelímku s roztaveným kovem, udržovací pec je součástí licího stroje. Rztavená slitina zinku se vstřikuje do licí formy pístem nebo stlačitelným vzduchem. Tlaková komora je zakončena tryskou, neustále se udržuje na teplotě dané roztavenou slitinou a tím dochází k možné korozi. Koroznímu působení je vystaven i píst a vodící pouzdro.



movable die half – pohyblivá část formy;

ejector pins – vyhazovače;

cavity – dutina formy;

fixed die half – pevná část formy;

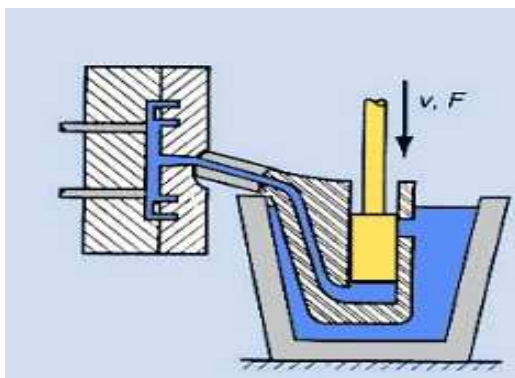
nozzle – tryska;

gooseneck – “husí krk”;

plunger – píst;

pot – nádoba s kapalným kovem;

chamber – komora.



Obr. 3.1 Části formy a ukázka stlačení slitiny do formy [17]

Stroje s teplou komorou jsou výhodné pro velkosériovou výrobu, automatizace není od věci. U tlakových pístových strojů s teplou plnicí komorou se používají buď pístové, nebo kompresorové lisys.

Pístové lisys se dělí na:

- a) s vertikální plnicí komorou** – pro výrobu odlitků ze slitin zinku
 - s vertikální dělicí plochou formy
 - s horizontální dělicí plochou formy
 - se šikmou dělicí plochou formy

b) s horizontální plnicí komorou – pro výrobu odlitků ze slitin cínu, olova, antimónu

- s vertikální dělicí plochou formy
- s horizontální dělicí plochou formy

Kompresorové lisy byly v dnešní době nahrazeny stroji se studenou licí komorou

3.1.1 Plnění dutiny formy

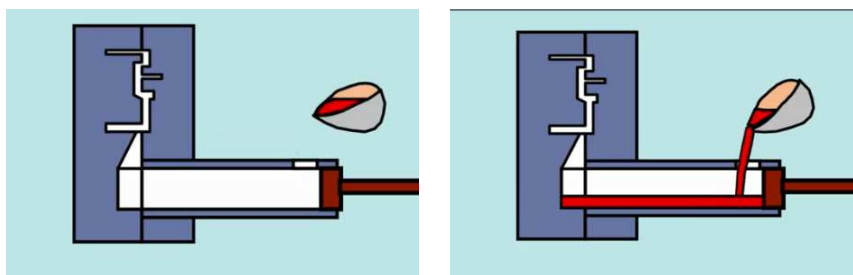
Plnění formy lze rozdělit do třech fází:

1. fáze: V první fázi nateče roztavený kov k naříznutí. V této fázi je tlak konstantní, píst se pohybuje pomalu, aby nedošlo k ucpání vzduchu. Zatím nedochází k žádným odporům ve vtokové soustavě.

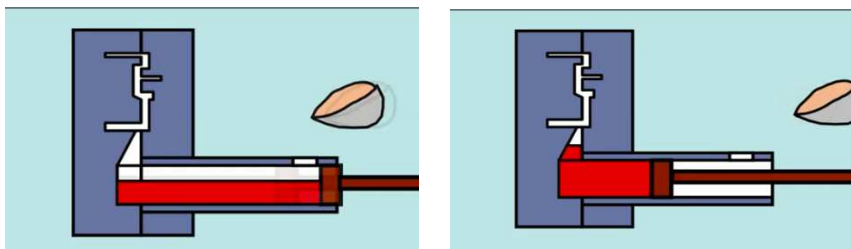
2. fáze: Pokud kov dorazí k naříznutí, rychlost pístu vysoce stoupá, tlak též. Dochází k zaplnění dutiny licí formy. V této fázi je důležité správně nastavit stroj. Pokud je nastavení špatné, dochází ke zhoršení kvality odlitku, k jeho nedolití, k mapovitému povrchu a dalším vadám.

3. fáze: Třetí fází je dotlak. Při dotlaku tuhne roztavený kov v dutině formy, díky tlaku pístu dochází ke stlačení vzduchu v odlitku. Tlak pístu působí na odlitek do doby, než kov ztuhne. Čas dotlaku si určuje každý technolog sám.

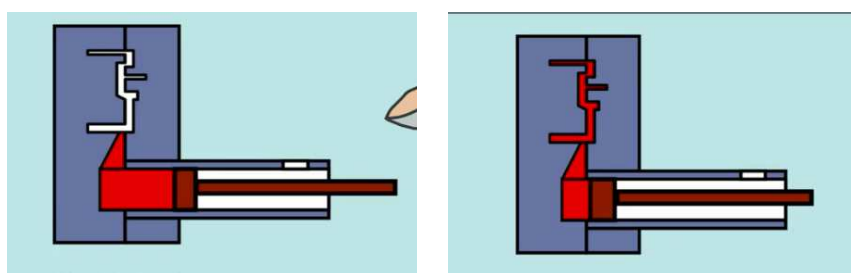
Na jednotlivých obrázcích 3.2 – 3.9 je znázorněn celý proces tlakového lití zinku. [16]



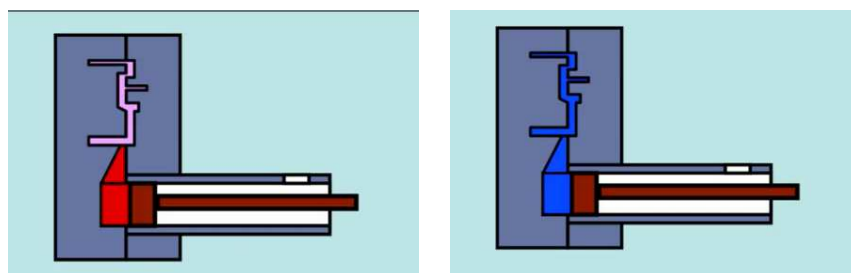
Obr.3.2 Plnění vtoku kapalným kovem



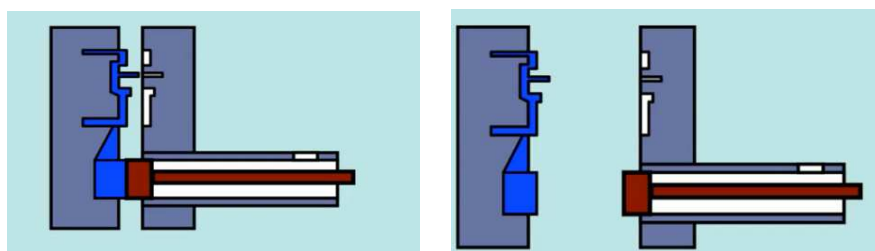
Obr. 3.3 Vstřikování taveniny do formy nízkou rychlostí (první fáze)



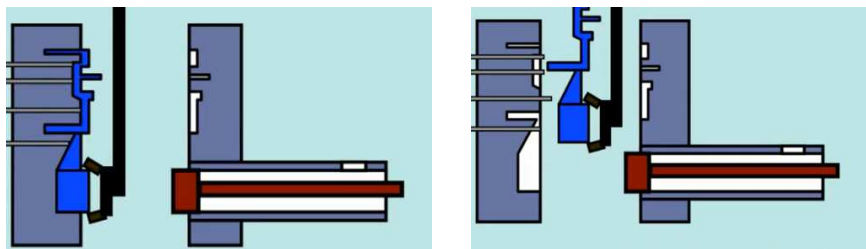
Obr. 3.4 Vysokou rychlostí ($60 - 80 \text{ ms}^{-1}$) dochází k vyplnění dutiny formy (druhá fáze)



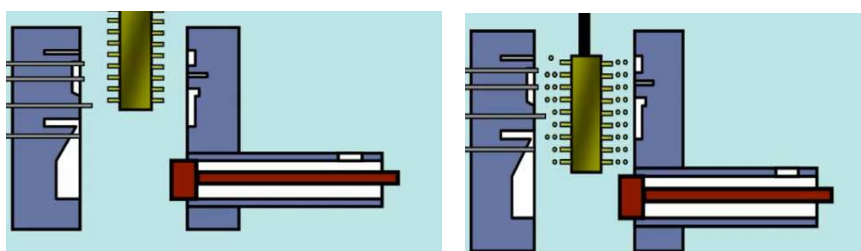
Obr. 3.5 Při tuhnutí odlitku vzniká vysoký tlak cca $80[\text{MPa}]$



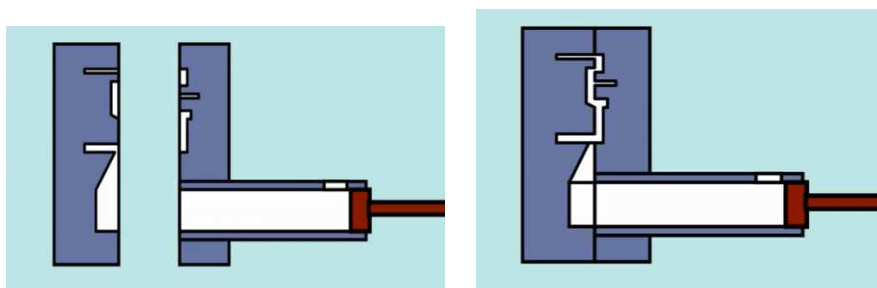
Obr. 3.6 Otevření formy



Obr. 3.7 Vyjmutí odlitku pomocí robotické ruky



Obr. 3.8 Čištění a vysušování dutiny formy



Obr. 3.9 Uzavření formy, píst se vrací do výchozí polohy

3.2 STROJE PRO TLAKOVÉ LITÍ ODLITKŮ ZE SLITIN ZINKU [11]

Pro vysokotlaké lití odlitků ze slitin zinku se používají výhradně stroje s teplou komorou. Rozdíl mezi stroji s teplou komorou a studenou komorou je zcela zřetelný na pohled, a to v umístění udržovací pece. Stroje s teplou komorou mají udržovací pec součástí stroje a lící agregát je ponořen v roztavené slitině, čímž odpadá operace dávkování přesného množství kovu do lící komory.

První komerčně vyráběný stroj, který se svým řešením podobal dnešním strojům s teplou komorou, byl postaven roku 1870 firmou Soss Manufacturing Co. v USA. Jeho

uzavírací a lisovací síly byly však velmi malé vzhledem k tomu, že pohyby stroje byly ovládané ručně pomocí pák. V dnešní době jsou stroje s teplou komorou plně automatizované a na trhu je v jejich výrobě velká konkurence.

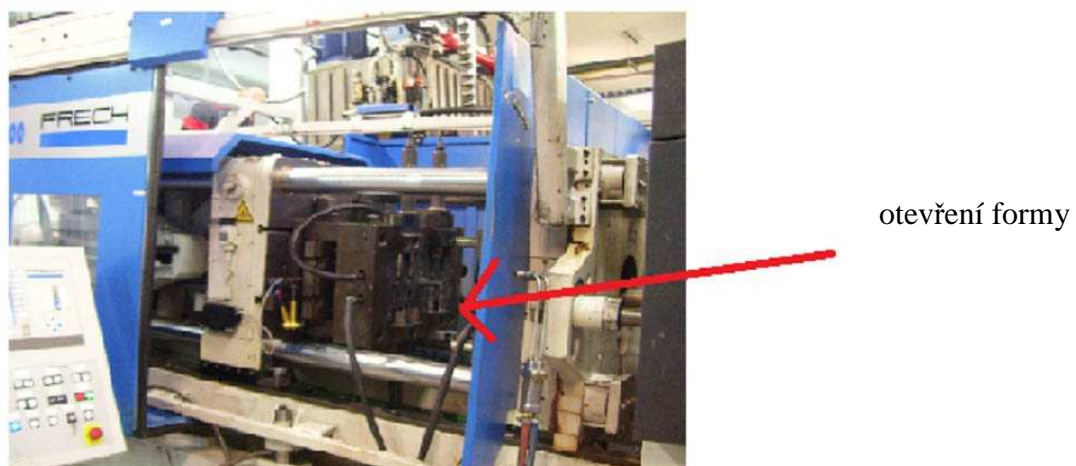
3.2.1 Řídicí systém stroje s teplou komorou

V dnešní době je plně automatizovaný proces nutnou podmínkou pro slévárny. Zajišťuje totiž rychlost, kvalitu, řízení, snížení procenta vad atd. Řídicí systém umí komunikovat s komponenty stroje, slouží k nastavení velkého množství parametrů, sleduje jejich technologické podmínky, stav lící komory, sleduje čas a všeobecně pomáhá technologům. Řídicí systém řídí stroj reálným časem, což má veliké výhody v nákladech a dokončovacích operacích.

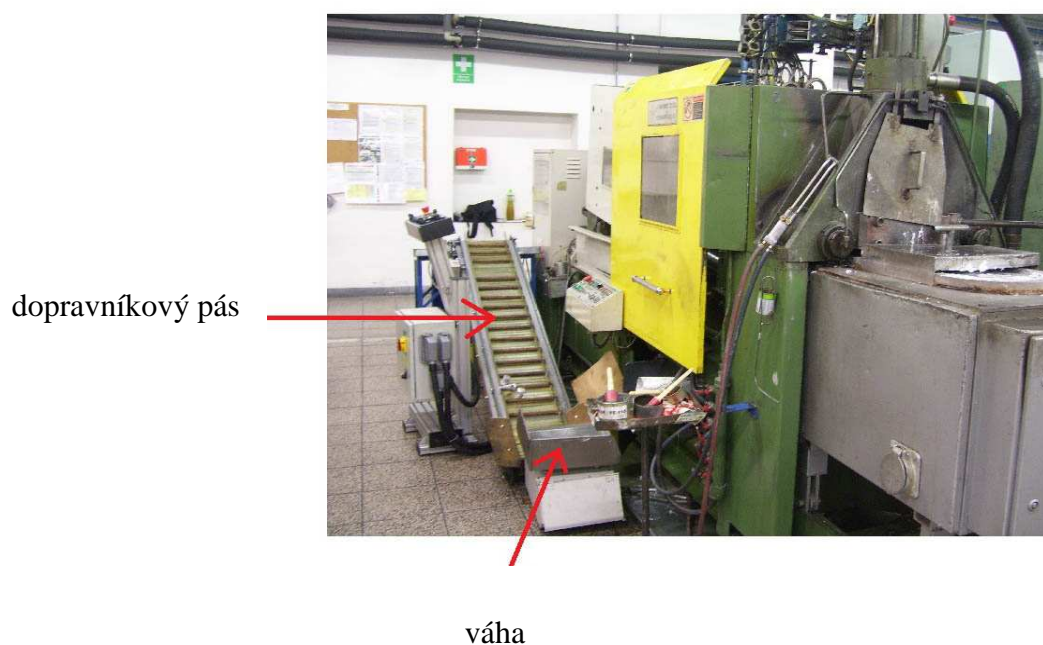
Stroje jako takové, se skládají z formy, plnicí komory, lisovacího a uzavíracího mechanismu, lisovacího pístu a dalších komponentů. V neposlední řadě je stroj vybaven skluzem, který slouží k dopravě odlitku z formy na váhu, kde se zváží jeho hmotnost a poté je pomocí dopravního pásu přepraven k odejmutí pracovní silou do beden k dalšímu zpracování.



Obr. 3.10 Ukázka stroje pro tlakové lití odlitků ze slitin zinku [10]



Obr. 3.11 Detail otevření formy stroje Frech [10]



Obr. 3.12 Externí příslušenství stroje pro tlakové lití [10]

3.3 TLAKOVÝ ODLITEK [12]

Lití pod tlakem umožňuje výrobu odlitků velkého množství a sortimentu. Po přímém odlití odlitku, následují ještě další dokončovací operace jako odstranění zbytků slitiny na nevhodných místech, obrábění, omílání odlitků pomocí omílacích kamenů, práškové lakování či pokovování a jiné operace, které jsou zákazníkem vyžádány.

Odlitky se rozdělují z hlediska hmotnosti, konstrukce, rozměrů a materiálu. Dle normy ČSN 42 1431 se tlakové odlitky dělí:

1. podle stavu na: surové, polosurové, hrubé, obrobené;
2. podle velikosti plochy v dělicí ploše formy na: odlitky do 100, 400, 800, 1600 [cm²], nad 1600[cm²];
3. podle složitosti na: jednoduché, středně složité a složité odlitky;
4. podle požadovaných vlastností na: odlitky s nejvyššími, vysokými, normálními požadavky a odlitky nenáročné.

V dnešní době se s odlitky ze slitin zinku lze setkat např. v automobilovém průmyslu, kde se vyrábějí tlakovým litím všechny součástky zámků do aut veškerých značek, madla k otevírání dveří a vůbec veškeré menší součásti do interiéru vozidel. Lze se setkat i s poklopy na špulky nití k textilním strojům, ty jsou též odlity ze slitin zinku. V neposledním řadě je to velké množství klíčů, kování na okna a dveře apod. Ukázky odlitků viz obrázky 3.13 – 3.18 [14].



Obr. 3.13 Směšovač plynů



Obr. 3.14 Víko hydraulického systému



Obr. 3.15 Části zámků dveří automobilů



Obr. 3.16 Rámy vnějších zrcátek



Obr.3.17 Tělesa zámků kufrů automobilů



Obr. 3.18 Čepy mechanismů otevírání oken

Mezi hlavní činitele, kteří určují možnost výroby tlakovým litím, je rozsah výroby, hmotnost odlitku, půdorysné rozměry odlitku v dělicí ploše formy, tloušťka stěny, požadavky na pevnost a těsnost odlitku a další faktory.

Hmotnost a rozměry odlitku závisí od možností tlakového stroje, od jeho objemu plnicí komory, tlaku p a uzavírající síly stroje F . Plocha průřezu odlitku vtokové soustavy se vypočítá pomocí vztahu

$$S = 0,85 F/p \quad [\text{cm}^2] \quad (3.1)$$

Pro kvalitní výrobu odlitků je zapotřebí optimální licí tlak, který je kolem 30 [MPa], nižší licí teplota taveniny a malá rychlost vstřikovacího pístu. Při vyšším i nižším licím tlaku, než stanovují normy, dochází ke vzniku pórovitosti odlitků. Proto je vhodné se nízkému tlaku a vysoké licí teplotě taveniny vyvarovat.

3.3.1 Vliv tvaru odlitku na technologičnost formy a lití [11]

Tvar odlitku hraje velkou roli. Forma pro odlitek s ostrými zářezy je náchylnější daleko více k poškození při výrobě formy, kalení i lití. Odlitek má i větší sklon k trhlinkám. Proto je vhodné, aby se i ostré hrany zaoblily.

Pro lití je potřebné, aby jádro v pevné polovině formy bylo uspořádáno tak, aby se dalo před otevřením formy vytáhnout. Pokud by se tak nestalo, je možné, že by byla levá polovička formy unášena pohyblivou půlkou formy a druhá část by se držela na jádře a došlo by tak k rozlamování odlitku a odlitek by nebylo možné hospodárně odlévat.

3.3.2 Tuhnutí a chladnutí odlitků ve slévárenské formě [15]

Cituji: „ Při utváření odlitků ve slévárenské formě je rozhodující tepelná energie, která se uvolní do okamžiku ztuhnutí odlitku. V důsledku teplotního gradientu (resp. teplotního spádu) mezi teplotou taveniny a teplotou formy přestupuje tepelná energie do formy prostřednictvím styčného povrchu (mezi odlitkem a formou). Teplota formy se však zvyšuje, největší je na lici formy, naopak teplota taveniny klesá a při lici formy se vytváří ztuhlá vrstva odlitku, která narůstá až do tepelné osy odlitku.

Fyzikálně – matematické výpočty, kterými lze popsat tepelné poměry v soustavě odlitek – forma, jsou velmi komplikované, neboť fyzikální podstata těchto dějů je velmi složitá. Klasické teorie přenosu tepla vychází z Biotovy a Fourierovy hypotézy. Podle toho je vektor hustoty tepelného toku přímo úměrný teplotnímu gradientu. Na velikosti gradientu teploty závisí množství sdíleného tepla.“ Konec citace [15].

3.3.3 Struktura odlitků ze slitin zinku [18]

Struktura odlitků je nositelem mechanických vlastností. Každý odlitek po odlití má jinou strukturu, závisí, z jaké slitiny byl odlitek vyroben a jakému místu odlitku struktura přísluší. Např. odlitek na obr. 3.19 je ze slitiny ZnAl4Cu1, vyroben vysokotlakým litím s dotlakem 20 [MPa]. Struktura je tvořena zrny o ploše $(60,19 \pm 9,29) \cdot 10^{-4} \text{ mm}^2$. Na obr. 3.20 je tentýž odlitek, avšak struktura je z jiné jeho části. Průměrná plocha zrn $(67,82 \pm 16,77) \cdot 10^{-4} \text{ mm}^2$.



Obr. 3.19 Odlietek ze slitiny ZnAl4Cu1a a jeho struktura (tl. stěny odlitku 7 mm, zvětšení 100x) [18]



Obr. 3.20 Odlietek a jeho struktura z jiné části (tl. stěny odlitku 3 mm, zvětšení 100 x), [18]

4. DISKUZE POZNATKŮ

Slévárenské slitiny zinku nachází v současné době značné uplatnění ve výrobě různých drobných konstrukčních součástí, především pro automobilový průmysl. Je to dané také tím, že slitiny zinku vykazují velmi dobré slévárenské vlastnosti, kam se řadí tavitelnost, zabíravost, atd. Také metalurgická příprava slitin zinku je jednodušší ve srovnání se slitinami hliníku. Slitiny hliníku vykazují velkou afinitu (slučivost) s kyslíkem. Tento proces přispívá k tomu, že slitiny hliníku je před odléváním nutno důsledně rafinovat a odplyňovat. Tyto metalurgické procesy nejsou nutné při odlévání slitin zinku.

Jak slévárenská praxe ukázala, slitiny zinku se dobře odlévají vysokotlakým litím. Přitom se využívají stroje s teplou komorou. Tímto způsobem se odlévají slitiny zinku označované obchodním názvem ZAMAK. Jsou to slitiny typu ZnAl_4 , ZnAl_4Cu_1 , ZnAlCu_4 , $\text{ZnAl}_{12}\text{Cu}_1$ a $\text{ZnAl}_{27}\text{Cu}_2$. Slitiny ZnAl_4 , ZnAl_4Cu_1 a ZnAlCu_4 se odlévají na strojích s teplou komorou. Slitinu ZnAl_8Cu_1 lze odlévat jak na strojích s teplou, tak se studenou komorou. Používá se tam, kde klasické slitiny zinku (ZnAl_4 , atd.) nelze použít. Odlitky vyrobené z této slitiny vykazují vynikající povrchovou kvalitu, rozměrovou stálost, dobrou pevnost v tahu i tvrdost. Odlitky ze slitin $\text{ZnAl}_{12}\text{Cu}_1$ a $\text{ZnAl}_{27}\text{Cu}_2$ se odlévají pouze na strojích se studenou komorou. Slitinu $\text{ZnAl}_{12}\text{Cu}_1$ lze použít i pro gravitační lití, avšak tento způsob výroby odlitků z této slitiny není typický. Odlitky vyrobené z těchto slitin mají vysokou odolnost proti deformaci, dobrou obrobitelnost, mechanické vlastnosti a malou pórovitost odlitků.

V současné době je zkoušena v zahraničí nová řada slitin zinku, která byla vyvinuta společností „International Lead Zinc Research Organisation“. Tyto slitiny mají označení ILZRO. Na trhu jsou známy zatím tři typy, a to ILZRO 12, 14 a 16, které se používají na odlitky lité pod tlakem na strojích jak s teplou, tak i se studenou komorou, či se odlévají do kokil.

Jak z výše uvedeného vyplývá, slitiny zinku se odlévají na strojích s teplou, tak studenou komorou. Stroje s teplou komorou se používají proto, že slitiny zinku vykazují nízkou teplotu tání (cca 383°C). Teplota lití těchto slitin 450°C .



Formy pro tlakové lití slitin zinku jsou vyrobeny z nástrojové oceli, respektive dutiny formy jsou složeny z ocelových vložek různé kvality, které odolávají tepelnému cyklickému namáhání. Formy musí obsahovat temperační systém, který je závislý na tvaru odlitku. Dále s konstrukcí dutiny formy souvisí i charakter vtokové soustavy, volba úkosů, atd. Je třeba volit uložení odlitku ve formě tak, aby šel dobře vyjmout z pevné části formy. Dnes existuje řada firem, které se zabývají návrhy a výrobou forem, přitom využívají slévárenské simulační programy.

Odlitky vyrobené ze slitin zinku se používají, jak je uvedeno na obr. 3.13 – 3.18 pro elektrotechnický průmysl, automobilový, ale najdou uplatnění i v jiných odvětvích.



5. ZÁVĚR

Bakalářská práce byla vypracována na téma „výroba odlitků ze slitin zinku“. Tato práce byla vypracována na základě získaných poznatků z prostudované literatury i na základě návštěvy slévárny Beneš a Lát ve Slané u Semil. Bakalářská práce je rešeršního charakteru.

Z obsahu práce vyplývá, že zinek a jeho slitiny mají široké uplatnění v průmyslové výrobě, především v elektrotechnickém a automobilovém průmyslu.

Zinek, respektive jeho slitiny dnes patří mezi důležité neželezné kovy. Slitiny zinku, především zinek s hliníkem a mědí, popř. s hořčíkem, se již uplatňují ze spotřebního hlediska více díky svým vhodným mechanickým vlastnostem. Je obecně známo, že růst ve výrobě zaznamenává zinek méně hliník, však společně ve slitině se ukazují jako nerozlučná dvojice. Slitiny zinku s hliníkem mají úzký interval tuhnutí, vyznačují se výbornými slévárenskými vlastnostmi, hutnými odlitky a dobrou zabíhavostí. Tyto typy slitiny zinku dostaly později díky svému uplatnění obchodní název ZAMAK.

Pro výrobu odlitků ze slitin zinku splňuje všechny podmínky pouze vysokotlaké lití. Vysokotlaké lití má u odlitků výborné vlastnosti, zanechává povrch odlitků hladký, odlitky mají přesný tvar. Tato metoda je vhodná spíše pro velkosériovou výrobu.

V této bakalářské práci je popsán přesný postup výroby odlitků vysokotlakým litím s názornými obrázky, stroje, které odlitky vyrábějí i ukázky samotných odlitků.

6. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] PÍŠEK, F., JENÍČEK, L., RYŠ, P.: Nauka o materiálu I., Neželezné kovy, ACADEMIA, Praha 1973.
- [2] PÍŠEK, F., JENÍČEK, L.: Nauka o materiálu III., Výroba železa, oceli a neželezných kovů – nekovové materiály, ACEDEMIA, Praha 1962.
- [3] NĚMEC, M., PROVAZNÍK, J.: Slévárenské slitiny neželezných kovů, ČVUT 2008.
- [4] KUCHAR, L., DRÁPALA, J.: Tabulky vybraných vlastností kovů, ES-VŠB, Ostrava 1979.
- [5] Technické podklady firmy Industrialmetalcasting.
- [6] Technické podklady firmy Ortmann.
- [7] VETIŠKA, A.: Nauka o materiálu V, Neželezné kovy a slitiny, SNTL, Praha 1960.
- [8] Technické podklady z internetové stránky www.commonswikipedia.org.
- [9] JUKL, O.: Precipitační vytvrzování odlitků ze slitin zinku. [Bakalářská práce]. KSP-FS, Technická Univerzita v Liberci, 2009.
- [10] Technické podklady firmy Beneš a Lát, Slaná u Semil.
- [11] RAGAN, E. a kolektiv: Liatie kovov pod tlakom, Fakulta výrobných technológií, Prešov 2007.
- [12] GRÍGEROVÁ, T., KOŘENÝ, R., LUKÁČ, I.: Zlívárstvo neželezných kovov, SNTL, Praha 1988.
- [13] VILČKO, J., SLOVÁK, S.: Zlívárská technológia, SNTL 1987.
- [14] Technické podklady firmy Motorjikov.
- [15] NOVÁ, I.: Tepelné procesy ve slévárenských formách, Technická Univerzita v Liberci, leden 2003.
- [16] HAIRY, P.: High pressure die casting process CTIF. November 2007. ETIF Avenue de la Division Leclerc 92318 Sevres Cedex, France.
- [17] GARCIA, E.: Hot chamber die casting. Ortal-die casting SNECI – Euquipment, FR.
- [18] DALECKÝ, M.: Sledování vlivu podmínek ochlazování na krystalizaci odlitků ze slitin zinku. [Diplomová práce]. KSP-FS, Technická Univerzita v Liberci, 2006.



Prohlášení

Byla jsem seznámena s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé BP a prohlašuji, že **s o u h l a s í m** s případným užitím mé bakalářské práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědoma toho, že užít své bakalářské práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

Bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum: 05.01. 2011

Podpis:



Declaration

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a licence for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact, in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

Date: 05.01. 2011

Signature: